

(51)

Int. Cl.:

.F 23 n, 1/00

(1)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



(52)

Deutsche Kl.: 24 m, 1/00

(10)

(11)

(21)

(22)

(43)

Offenlegungsschrift 1551 983

Aktenzeichen: P 15 51 983.2 (S 109902)

Anmeldetag: 17. Mai 1967

Offenlegungstag: 2. April 1970

Ausstellungspriorität: —

(30)

Unionspriorität

(32)

Datum: 22. Juni 1966

(33)

Land: Frankreich

(31)

Aktenzeichen: 66424

(54)

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Regelung von Öfen

(61)

Zusatz zu: —

(62)

Ausscheidung aus: —

(71)

Anmelder: Société Anonyme Heurtey, Paris

Vertreter: Prinz, Dipl.-Ing. E.; Hauser, Dr. G.; Leiser, Dipl.-Ing. G.;
Patentanwälte, 8000 München

(72)

Als Erfinder benannt: Westfried, Florin, Paris

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): 27. 5. 1969

DT 1551 983

Dipl.-Ing. Egon Prinz
Dr. Gertrud Hauser
Dipl.-Ing. Gottfried Leiser
Patentanwälte

Telegramme: Labyrinth München
Telefon: 83 15 10
Postcheckkonto: München 117078

8000 München 60,
Ernsbergerstrasse 19

16. Mai 1967

1551983

Société Anonyme HEURTEY, 30-32, Rue Guersant,
Paris XVII e/Frankreich

Unser Zeichen: S 2316

Verfahren und Vorrichtung zur automatischen
Regelung von Öfen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung, die bei der automatischen Regelung von Anlagen zum industriellen Erhitzen anwendbar sind, die nach den Gesetzen des kontinuierlichen Wärmeaustausches arbeiten, wie beispielsweise den kontinuierlich arbeitenden Öfen (beispielsweise Öfen mit sich drehenden oder umlaufenden Boden, Öfen mit Holmen, Öfen, in denen Werkstücke vorwärts geschoben werden). In der folgenden Beschreibung werden derartige Einrichtungen zum industriellen Erhitzen allgemein mit "Öfen" bezeichnet.

Um

Gei.

009814/0793

BAD ORIGINAL

Um für einen speziellen Fall das Problem zu präzisieren, das zu lösen Aufgabe der Erfindung ist, soll im folgenden speziell der Fall von Öfen betrachtet werden, in denen Werkstücke vorwärts geschoben werden und die zum Erhitzen von metallurgischen Produkten, wie beispielsweise Brammen oder Knüppeln, dienen.

Bei der Bedienung eines Stossofens, bei welchem die Produkte in kontinuierlicher Weise eingefahren werden, ist es notwendig, die Temperatur der Produkte beim Ausstossen auf einen vorgeschriebenen Wert zu halten. Die Abweichung der Temperatur zwischen dem Inneren und der Oberfläche des Produkts muss ausserdem einen Maximalwert von beispielsweise $\pm 25^{\circ} \text{C}$ nicht übersteigen.

Der Betrieb von Stossöfen ist somit Störungen unterworfen, die vor allen folgende Ursachen haben:

- der Rhythmus der Produktion;
- die Variation der Dickenabmessung der Produkte;
- die Verbrennungsbedingungen und
- die thermische Trägheit des Ofens.

Auf Grund der Gesamtheit dieser Faktoren ist es mit den klassischen Regelungsketten für Stossöfen nur möglich, eine

Regelung .

Regelung a posteriori, eine Regelung im Nachhinein, zu erzielen. Dies liegt daran, dass der Heizer bei derartigen Vorrichtungen auf den angezeigten Temperaturwert jeder Erhitzungszone Einfluss nimmt, um auf die Produktion bezogene Anzeigen zu berücksichtigen, welche vom Betrieb von hinter dem Ofen angeordneten Walzwerken geliefert werden.

Ausserdem verlangen Unterbrechungen im Betrieb der Walzstrasse auf Grund von Walzenauswachsungen oder Betriebsunfällen Massnahmen vom Heizer, die lediglich von seiner persönlichen Erfahrung her bestimmt werden. Aus diesem Grund kann die Anzahl der manuellen Massnahmen zur Steuerung der Ofentemperatur in Abhängigkeit des Ausstossprogramms und der für die Produkte gewünschten Temperatur sehr beträchtlich werden.

Unter diesen Bedingungen ist also die manuelle Wiederherstellung eines permanent im Lauf befindlichen Betriebszustandes schwierig.

Man hat bereits versucht, diese Nachteile durch Verwendung eines Rechners insbesondere zum Ersatz von fehlenden Informationen hinsichtlich der Produkttemperatur im Ofen, deren

direkte

BAD ORIGINAL

direkte Messung praktisch unmöglich ist, abzuschwächen.

Man hat auf diese Weise ein mathematisches Modell aufgestellt, mit dem in den Rechner das Erhitzungsgesetz der Produkte unter Berücksichtigung der messbaren Daten des Ofenbetriebs simuliert werden kann.

Dieses Modell umfasst die ständige Lösung von Wärmeleitungsdifferentialgleichungen für die in den Ofen eingeführten Produkte. Diese Gleichungen berücksichtigen die variablen Bedingungen des Strahlungs- und Konvektionswärmeaustausches an der Oberfläche der Produkte über die gesamte Ofenlänge.

Gemäss gewissen Untersuchungen werden diese vom Rechner gelieferten Angaben vom Ofenführer zur Regelung des Ofens verwendet. Gemäss anderen Versuchen wurde vorgeschlagen, die Regelungsketten für den Brennstoffdurchsatz mit Hilfe des Rechners zur Schaffung einer automatischen Ofensteuerung zu steuern.

In beiden Fällen müssen Rechner verwendet werden, mit denen kontinuierlich Differentialgleichungen gelöst werden können. Daher muss man über eine bedeutende Rechnerkapazität verfügen. Man muss daher Vorrichtungen verwenden, deren Ein-

richtung

BAD ORIGINAL

009814/0793

richtung gleichzeitig kompliziert und sehr teuer ist.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, diese Nachteile und Beschränkungen zu beheben, indem insbesondere die permanente Lösung von Wärmeausbreitungsgleichungen und die Berechnung von Übertragungskoeffizienten vermieden wird.

Das erfindungsgemässe automatische Regelverfahren umfasst in bekannter Weise die Einführung eines Rechners in den Regelkreis, der Steuerwerte ausarbeitet unter Berücksichtigung der thermischen und geometrischen Merkmale der sich durch den Ofen bewegendenden Produkte und der die Informationen hinsichtlich der Temperatur und des Brennstoffdurchsatzes in zumindest einigen Erhitzungszonen sowie diejenigen, die die Temperatur des Produktes am Ofenausgang betreffen, empfängt.

Erfindungsgemäss ist dieses Verfahren im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner systematisch eine experimentell durch Korrelation aufgestellte und in dessen Speicher registrierte Funktion auswertet, welche eine Beziehung zwischen dem Wärmefluss und der Masse des zu erhitzenden Produktes je Zeiteinheit herstellt. Diese Funktion

berücksichtigt

berücksichtigt vorzugsweise gleichzeitig Gesetze des Erhitzens des Produkts, des Wärmeaustausches im Ofen -Innenraum und der stündlichen Produktion.

Durch systematische Bezugnahme auf die in Betracht gezogene Korrelationsfunktion ermöglicht die Erfindung so, dass nur verhältnismässig kleine Rechneinheiten verwendet werden.

Genauer repräsentiert die durch Korrelation aufgestellte und im Speicher des Rechners registrierte Funktion die für eine Erhitzungszone bestimmten Werte der thermischen Leistung als Funktion der Durchgangszeit der Produkte mit definierten geometrischen Charakteristiken durch diese Zone. Der Rechner nimmt dann in wiederholten Zeitintervallen den Vergleich zwischen folgenden Werten vor:

- einerseits dem tatsächlichen Wärmegewinn eines jeden sich durch jene Zone bewegendes Produkts berechnet aus der Temperatur der Zone und dem oben erwähnten Leistungswert für eine bestimmte Durchgangszeit als Funktion der stündlichen Ofenproduktion; und
- andererseits dem theoretisch erzwungenen Wärmegewinn.

Der

Der zwischen diesen Grössen möglicherweise bestehende Unterschied stellt ein Fehlersignal dar, welches zur Regelung des Brennstoffdurchsatzes in der betrachteten Erhitzungszone dient.

Quantitativ ist das erfindungsgemässe Verfahren bemerkenswert, da der von dem Produkt während seiner Bewegung durch eine Erhitzungszone aufgenommene Wärmegewinn D_i durch folgendes Verhältnis bestimmt ist:

$$D_i = K \cdot t / X \cdot y \quad (1)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

- K das mittlere Übertragungsverhältnis, d. h. die auf das Produkt je Oberflächen- und Zeiteinheit übertragene Wärmemenge;
- t die Zeit des Durchgangs des Produkts durch die betrachtete Zone;
- X eine zu der Seite des thermischen Kerns des zu erhitzenden Produkts proportionale Länge und
- y die spezifische Masse des zu erhitzenden Produkts.

Der Parameter K seinerseits ist durch folgende Beziehung gegeben:

$$K = G \cdot C_{pg} \cdot T_f \cdot R(t) / S \quad (2)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

-G

- G den Brennstoffdurchsatz;
- C_{pg} die spezifische Wärme des Brennstoffes;
- T_f die Temperatur des Brennstoffes in der Erhitzungszone;
- S die Gesamtoberfläche für den thermischen Austausch und
- $R(t)$ die durch Korrelation aufgestellte charakteristische Funktion.

Diese Funktion $R(t)$ kann experimentell für jede Erhitzungszone und jede Kategorie von Produkten als Funktion der Durchgangszeit der Produkte durch die betrachtete Zone aufgestellt werden.

Praktisch bedeutet die Funktion $R(t)$ die thermisch-dynamische Ausbeute der auf das Metall bei den Verbrennungszuständen übertragenen Kalorien entsprechend den zulässigen Ausstosstemperaturen.

Die Erfindung beruht also darauf, dass gefunden wurde, dass in sehr guter Näherung eine für jede Erhitzungszone und jeden Typ von zu erhitzendem Produkt charakteristische Funktion $R(t)$ existiert.

Die Funktion $R(t)$ wird nach ihrer punktwweisen experimentellen Bestimmung in dem Speicher des Rechners registriert und

, dient

dient zur Berechnung der Steuerwerte der Brennstoffdurchsätze.

Die Erfindung betrifft auch eine automatische Regelungsvorrichtung, bei welcher das oben beschriebene Verfahren angewendet wird.

Diese Regelungsvorrichtung weist einen Rechner auf, der Messwerte (Temperatur und Gasdurchsatz) in Bezug auf zumindest eine Erhitzungszone und feste Werte in Bezug auf die Charakteristiken des Ofens, der zu erhitzenden Produkte und der Produktion empfängt und der Steuersignale an Regulatoren abgibt, die den Brennstoffdurchsatz für die in Betracht gezogene Erhitzungszone steuern. Diese Regelungsvorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner einen Speicher aufweist, in welchem eine experimentell durch Korrelation für die in Betracht gezogene Erhitzungszone aufgestellte Funktion registriert ist, die die thermische dynamische Leistung darstellt.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform weist der Rechner folgende Elemente auf:

- eine Recheneinheit, die in sich wiederholenden Intervallen die von den Produkten während der Zeit ihres Durchgangs durch die in Betracht gezogene

zogene Erhitzungszone aufzunehmende Wärmemenge bestimmt, welche proportional zum Produkt aus der Funktion $R(t)$, der Durchgangszeit und der Temperatur der Erhitzungszone ist.

- eine Rechneinheit, die die Durchgangszeit als Funktion der gegebenen stündlichen Produktion bestimmt.

Weitere Merkmale der Erfindung sind aus der nachfolgenden Beschreibung ersichtlich.

Die in der beigefügten Zeichnung dargestellten Beispiele sollen die Erfindung erläutern, ohne sie zu beschränken. In der Zeichnung ist die Anwendung der Erfindung zur automatischen Regelung eines Stossofens vom Typ des Brammenofens dargestellt. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine vereinfachte schematische Darstellung des Ofens im Längsschnitt, zusammen mit der automatischen Regelungsvorrichtung;

Fig. 2 ein Diagramm von zwei speziellen durch Korrelation aufgestellten und in den Speicher des Rechners eingebrachten Funktionen
und

Fig. 3

BAD ORIGINAL

Fig. 3 ein vereinfachtes Diagramm der Recheneinheiten des Rechners und der mit diesem verbundenen Regelkreise.

In der nachfolgenden Beschreibung wird zunächst der Aufbau einer Erhitzungsvorrichtung und deren automatischer Regelungsvorrichtung beschrieben. Die Beschreibung des Regelungsverfahrens erfolgt im Zusammenhang mit der Erläuterung der Wirkungsweise der Vorrichtung.

Es sei nun auf Fig. 1 Bezug genommen. Mit 1 ist ein Brammenofen vom Typ des Stossofens bezeichnet, der eine Vorerhitzungszone A, eine untere Hoherhitzungszone B, eine obere Hoherhitzungszone C und eine Ausgleichszone D aufweist. Die Brammen 2 werden mittels eines Schiebers 3 in den Ofen eingeführt und bewegen sich durch den Ofen 1 in Richtung des Pfeiles F, wobei sie von Längsführungen getragen werden und durch eine Schwingtür 4 entnommen werden.

Hinter dem Ofen 1 ist eine Walzenstrasse 5 angeordnet, die dazu bestimmt ist, die wiedererhitzten Brammen 2 in Bleche umzuwandeln.

Der Ofen 1 weist im wesentlichen drei Brenneinheiten 6b, 6c, 6d auf, die bei den Zonen B, C bzw. D angeordnet

sind

sind und mit zumindest einem Brennstoff mit verbundener Zufuhr von Verbrennungsmittel (Sauerstoffträger, Luft) gespeist werden.

Jeder dieser Brenneinheiten 6b, 6c und 6d weist in bekannter Weise ein Organ 7b, 7c bzw. 7d zur Steuerung des Brennstoffdurchsatzes auf, von denen jedes durch einen Regulator gesteuert wird. Diese Regulatoren sind mit 8b, 8c bzw. 8d bezeichnet und sind vorzugsweise vom Typ der proportionalen, integralen und differentiellen Wirkung.

Gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren ist die automatische Regelung des Ofens 1 mittels eines speziell arbeitenden Rechners 10 vorgesehen, der Speicher-, Rechen- und Verzögerungselemente aufweist.

Der Rechner 10 kann ein Analogrechner oder Digitalrechner oder auch ein Rechner vom kombinierten Typ sein, wobei die letztere Form bevorzugt ist.

Um die automatische Regelung des Ofens 1 in der gewünschten optimalen Form zu realisieren, wird der Rechner 10 mit verschiedenen Messwertgebern verbunden, welche die die Erhitzungszonen des Ofens und die Brammen betreffenden Variablen zu dem Rechner übertragen. Bei den Messwertgebern han-

delt

delt es sich um die folgenden:

- die Pyrometer 9b und 9c, welche die Temperaturwerte T_f der Gase in den Hochbrennzonen B und C liefern.
- die Durchsatzmesser 11b, 11c und 11d, welche die momentanen Werte des Brennstoffdurchsatzes zu den Brennern 6b, 6c bzw. 6d angeben.
- Ein Messwertgeber 12 (beispielsweise ein fotoelektrisches Pyrometer), der die Oberflächentemperatur T_s der Brammen nach der Klappe 4 misst.
- Ein Messwertgeber 13 derselben Art, der die Temperatur T_o des am Ende der Walzenstrasse 5 erhaltenen Blechs misst.

Diese verschiedenen Messwertgeber liefern dem Rechner die Momentanwerte, so dass dieser die Regelungsbefehle ausarbeiten kann.

Der Rechner 10 weist ausserdem Zuführungsorgane auf, über die folgende sich auf die Produkte und die Produktion beziehende Grössen in die Rechenstufen eingeführt werden können:

- W, der Durchsatz der Brammen (gegeben durch die Produktion und die Walzbauer). Diese Information wird vorteilhafterweise von dem Schieber 3 übertragen.

-L₁

- L_1, L_2 , die jeweiligen Längen der Hochbrennzonen B (oder C) und der Ausgleichszone D.
- p , die Länge der Brammen,
- s , die Dicke der Brammen,
- γ , die spezifische Masse des Stahls, aus dem die Brammen bestehen,
- Q_1 , der momentane Durchsatz für die Gesamtheit der Zonen B und C,
- Q_2 , der momentane Brennstoffdurchsatz für die Zone D,
- C_{pg} , die spezifische Wärme der Brenngase,
- a_1, a_2 , die Verbrennung und spezielle Merkmale der bestimmten Verbrennungszone betreffende Koeffizienten,
- b , einen auf Grund der Geometrie der Bramme bestimmten Koeffizienten, wobei die Art und Weise des Erhitzens berücksichtigt wurde.

Gemäss einer der grundlegenden Besonderheiten der Erfindung weist der Rechner 10 noch ein Speicher auf, in welchem die Werte der Funktion $R(t)$ gespeichert sind, die eine durch Korrelation aufgestellte in der Zeit nicht lineare Funktion darstellt: Für jede Erhitzungszone stellt $R(t)$ den Prozentsatz der dem Metall für die Verbrennungszustände übertragenen Kalorien entsprechend den zulässigen Ausstosstemperaturen dar.

Als

Als Beispiel wird die repräsentativen Kurven der Funktion $R(t)$ in Fig. 2 für die Hauptbrennzone C dargestellt. Bei den Kurven C_{90} und C_{135} haben die Brammen eine Dicke von 90 mm bzw. 135 mm. Auf der Abzisse wurde die Zeit des Durchgangs der Brammen durch die in Betracht gezogene Zone in Minuten und auf der Ordinate die entsprechenden Werte der Funktion $R(t)$ aufgetragen, deren Wert kleiner als 1 ist und die einem thermischen Wirkungsgrad entspricht.

In jedem Fall wurde die repräsentative Kurve der Funktion $R(t)$ ausgehend von experimentell erhaltenen Punkten gezogen.

Einige dieser Punkte sind in das Diagramm eingetragen. Ihre Streuung in Bezug auf die entsprechende Kurve übersteigt $\pm 5\%$ nicht.

Die gespeicherte Funktion $R_1(t)$ für die Hauptbrennzonen B und C ist bei 15 in Fig. 3 und die gespeicherte Funktion $R_2(t)$ für die Ausgleichszone D ist bei 16 in Fig. 3 schematisch dargestellt. Der entsprechende Speicher für diese Funktionen kann sowohl ein Digital- als auch ein Analogspeicher sein, wobei letztere Version bevorzugt ist.

Der Rechner 10 weist ausserdem Hilfsrecheneinheiten und zwei getrennte Rechenelemente auf, wobei das erste den Zo-

nen

nen B und C mit einer Vorrichtung zum zyklischen Vertauschen und das zweite der Zone D zugeordnet ist.

In Fig. 3 wurden die von jeder Recheneinheit oder jedem Rechenelement durchgeführten Operationen in die jeweilige symbolische Darstellung der den Operationen zugeordneten Stufen zur Erhöhung der Verständlichkeit eingetragen.

bei den Hilfsrecheneinheiten handelt es sich um die folgenden:

- Eine Recheneinheit 21 für die Zeiten der Bewegung der Bramme t_1 in den Zonen B und C und t_2 in der Zone D. Die Einheit 21 nimmt die festen Werte W , L_1 oder L_2 , p , s , y auf und nimmt die Berechnung von t_1 oder t_2 gemäss der folgenden Beziehung vor:

$$t_{1,2} = (L_{1,2} \cdot p \cdot s \cdot y) / W.$$

Die Einheit 21 führt dann die Werte von t_1 bzw. t_2 den Speichern 15 bzw. 16 zu.

- Eine Recheneinheit 22 für den Gesamtbrenngasdurchsatz G in Bezug auf die Hauptbrennzonen B und C des Ofens 1.

In einer derartigen Zone stammen die Gase aus einem Gemisch

der

der eigentlichen Gase und der aus der weiter oben liegenden Zone D stammenden Gase, wird die Gesamtmenge der Verbrennungsgase entsprechend berechnet und wird deren mittlere spezifische Wärme auf die gemessene mittlere Gemischtemperatur bezogen.

Mit den obigen Angaben ergibt sich die Grösse von G durch folgende Formel:

$$G = a_1 Q_1 + a_2 Q_2$$

- eine Recheneinheit 23 für die Seite X des thermischen Kerns der Bramme, die sich aus folgender Beziehung ergibt:

$$X = b.s.$$

- eine Recheneinheit 24 für die Gesamtwärmeaustausch-
oberfläche S_1 in den Zonen B und C und eine ähn-
liche Einheit 25 für die Oberfläche S_2 in der
Zone D, deren Grössen sich aus den folgenden
Beziehungen ergeben:

$$S_1 = p.L_1.$$

$$S_2 = p.L_2.$$

- eine Recheneinheit 26, die den Wert D_1^+ des Wärme-
gewinns der Bramme liefert, der durch folgende
Formel gegeben ist:

$$D_1^+ = C_{pm} \cdot T^+$$

In dieser Gleichung bedeuten T^+ die mittlere für
die Bramme am Ausgang des Ofens vorgeschriebene

Temperatur (Walzwerktemperatur) und C_{pm} die spezifische Wärme des Metalls. (Hierbei wird angenommen, dass die Bramme in den Ofen bei $0^{\circ} C$ eintritt.)

Zum Aufbau der automatischen Regelung wurde angenommen, dass jede Bramme in den Zonen A, B und C die zu ihrer Erwärmung notwendige Gesamtwärmemenge aufnehmen muss, wobei die Ausgleichszone D lediglich dazu dient, die Temperaturen auszugleichen und die thermischen Verluste zu beheben.

Das den Zonen B und C zugeordnete Rechenelement 27 ist dazu bestimmt, den effektiv von einer Bramme während ihres Durchgangs durch die entsprechende Zone aufgenommenen Wärmegewinn D_i auszuwerten.

Dieser Gewinn D_i ist durch folgende Beziehung gegeben:

$$D_i = K_1 \cdot t_1 / X \cdot y \quad (1)$$

In dieser Formel ergibt sich der Parameter K_1 seinerseits ausgehend von der Funktion $R_1(t)$, die durch Korrelation aufgestellt wird und im Obigen definiert wurde, aus der folgenden Formel:

$$K_1 = G \cdot C_{pg} \cdot T_f \cdot R_1(t_1) / S_1 \quad (2)$$

Unter diesen Bedingungen ist es erfindungsgemäss vorgesehen, den wahren Gewinn D_i gemäss der folgenden Beziehung zu

berechnen:

berechnen:

$$D_i = G \cdot C_{pg} \cdot T_f \cdot R_1(t_1) \cdot t_1 / X \cdot y \cdot S_1 \quad (3)$$

Hierfür wird das Rechenelement 27 durch die Hilfsrechen-
einheiten 21, die t_1 liefert, 22, die G liefert, 23, die
 X liefert und 24, die S_1 liefert und durch den Speicher
15, der den Wert der Funktion $R_1(t_1)$ für den von der Ein-
heit 21 berechneten Wert von t_1 liefert, gespeist. Das
Element 27 erhält ausserdem die Werte von T_f (gemessen
von den Sonden 9b oder 9c), von y und von C_{pg} .

Das Rechenelement liefert so den gemäss Gleichung (3)
berechneten Wert des Wärmegewinns D_i .

Es ist noch ein Speicher 29 vorhanden, der den so von den
Elementen 27 gebildeten Wert von D_i registriert, sowie ein
Speicher 31 für D_i^+ , wobei dieser Wert von der Recheneinheit
26 geliefert wird. Die Ausgänge dieser beiden Speicher 29
und 31 sind in Bezug auf die Eingangskreise 32b oder 32c
der Regulatoren 8b bzw. 8c gegeneinander geschaltet. Die
oben bereits erläuterten Regulatoren 8b bzw. 8c steuern die
Brenner 7b bzw. 7c über Einstellrelais 33b bzw. 33c.

Der abwechselnde Anschluss der Kreise 32b und 32c an den
Speicher 29 erfolgt mit Hilfe eines zyklischen Vertauschers
40.

beim

Beim automatischen Betrieb erweckt die Speichereinheit 15 den charakteristischen Wert der Funktion $R_1(t)$ für jede bei der Wiedererwärmgeschwindigkeit des Metalls auftretende Änderung, wobei diese Änderung von einer Modifikation der Vorschubgeschwindigkeit und/oder der Brammendicke stammen kann.

Der Rechner 10 stellt so durch sukzessives Umschalten, beispielsweise alle 5 Sekunden, den Wärmegewinn der Bramme in der betrachteten Zone unter Berücksichtigung des augenblicklichen Brennstoffdurchsatzes, der Temperatur der Zone und des Wertes des thermischen dynamischen Wirkungsgrades $R_1(t_1)$ fest, der von der Speichereinheit 15 geliefert wird.

Der Vergleich zwischen dem Wert des so berechneten Wärmegewinns D_i und dem Wert des theoretisch erforderlichen Wärmegewinns D_i^+ schafft ein Fehlersignal, welches von den Brennstoffdurchsatzregulatoren 8b und 8c verwendet wird.

Die automatische Regelung der Zone D ist vorgesehen, um eine Nachkorrektur des Fehlers zu gewährleisten, der bei den Erhitzungen in den vorangegangenen Zonen aufgetreten ist.

Hierzu

Hierzu werden zwei Wärmemengen verglichen, um ein Fehler-signal zu erhalten, welches zur automatischen Regelung dient.

Der erste Vergleichstermin besteht aus der Warenkalorien-zufuhr $d(D_1)$ in Zone D. unter Berücksichtigung des wirklichen dynamischen Wirkungsgrades $R_2(t_2)$ dieser Zone.

Dieser Ausdruck ergibt sich aus der Beziehung:

$$d(D_1) = t_2 \cdot R_2(t_2) \cdot Q_2 / X \cdot y \cdot S_2 \quad (4)$$

Der zweite Vergleichstermin ist die Differenz $d(D_1^+)$ zwischen einerseits den theoretisch erfolgten Wärmegewinn $D_1^+ = C_{pm} T^+$, wobei die Bezeichnungen wie im Obigen definiert sind, und andererseits dem gemessenen Wärmegewinn D_{im}^+ , der auf Grund der Messungen der Temperaturen am Ofenausgang T_s und am Ende der Walzstrasse T_c berechnet wurde, wobei sich dieser Wärmegewinn aus der folgenden Gleichung ergibt:

$$D_{im}^+ = C_{pm} T_m^+$$

In dieser Gleichung ist die Temperatur T_m^+ eine fiktive sich aus der folgenden Beziehung ergebende Temperatur:

$$T_m^+ = T_s - 2 \cdot (T_s - T_c) / 3 -$$

Eine derartige Relation enthält die Aussage, dass die Temperatur des Kerns der Brame am Bodenausgang gleich der Oberflächentemperatur T_c wäre, wenn die Brame auf eine

Folie

Folie reduziert wäre. Diese Hypothese ist nicht streng aber sie ist zuverlässig und ermöglicht die oben vorgesehene Nachregelung.

Man vergleicht schliesslich

$d(D_i)$ und $d(D_i^+)$, wobei der letzte Ausdruck sich aus folgender Beziehung ergibt:

$$d(D_i^+) = (D_i^+ - D_{im}^+) = C_{pm}(T^+ - T_m^+) \quad (5)$$

Die Gleichung (4) bestimmt die Anordnung des Rechenelementes 28, welches die festen Werte X und y und die berechneten Werte T_2 , $R_2(t_2)$, S_2 , Q_2 aufnimmt.

Die Gleichung (5) bestimmt den Aufbau einer Recheneinheit 35, welche den Wert von T_m^+ aus den Werten von T_s und T_c liefert, die von den Pyrometern 12 bzw. 13 stammen. Die Einheit 35 ist mit einer Recheneinheit 36 verbunden, die das Produkt $C_{pm} T_m^+$, d. h. D_{im}^+ ergibt.

Die Einheit 36 und die Recheneinheit 26, welche die Grösse D_i^+ liefert, wird bei einer Subtraktionsstufe 37 miteinander verbunden, die einen der Terme des differentiellen Fehler-signals $d(D_i^+)$ liefert. Falls die Grössen beispielsweise in digitaler Form vorliegen, wird die Subtraktionsstufe als Gegenkreis aufgebaut.

Der

Der Ausgang der Stufe 37 und der Ausgang des Rechenelementes 28 sind gegeneinander in die Eingangskreise 38 des Regulators 8d geschaltet, der den Schieber 7d des Brenners 6d über ein Einstellrelais 39 steuert.

Die so vorgesehenen Mess- und Rechenmittel für die Zone D ermöglichen die Einführung eines seltsamen Korrekturtherms, um die automatische Regelung der Ofenanordnung zu vervollständigen. Ausserdem erhält die Steuerungsvorrichtung durch diese differentielle Regelung die Information bezüglich der Effektivtemperatur der Produkte ausserhalb des Ofens, wodurch evtl. Abweichungen vermieden werden.

Es hat sich gezeigt, dass die erfindungsgemässen Vorrichtungen und Verfahrensmassnahmen eine vorteilhafte automatische Regelung für Ofen des in Betracht gezogenen Typs ermöglichen, wobei gleichzeitig nur Rechner von verhältnismässig kleiner Kapazität benötigt werden und nur eine relativ beschränkte Programmierarbeit von dem Moment an erforderlich ist, von dem an die Funktionen $R(t)$ bestimmt worden sind.

Die Erfindung soll nicht auf die speziell beschriebene Ausführungsform und auch nicht auf die speziell definierten

Mittel

BAD ORIGINAL

Mittel beschränkt sein, sondern auch weitere Ausführungsformen umfassen.

Patentansprüche

BAD ORIGINAL

009814/0793

P a t e n t a n s p r ü c h e

- ①. Verfahren zur automatischen Regelung von industriellen Öfen, die nach den Regeln des kontinuierlichen Wärmeaustausches arbeiten, wobei bei diesem Verfahren in den Regelkreis ein Rechner eingeschaltet wird, der die Regelungsgrößen unter Berücksichtigung der thermischen und geometrischen Charakteristiken der sich durch den Ofen bewegendenden Produkte auswertet und der die Informationen hinsichtlich der Temperatur und des Brennstoffdurchsatzes in zumindest einigen der Erhitzungszonen sowie diejenigen, die die Temperatur der Produkte am Ofenausgang betreffen, aufnimmt, dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner systematisch eine experimentelle durch Korrelation aufgestellte und in den Speicher des Rechners eingegebene Funktion auswertet, welche einen Zusammenhang zwischen dem Wärmefluss und der Masse der zu erhitzenden Produkte je Zeiteinheit darstellt..
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die durch Korrelation aufgestellte Funktion gleichzeitig die Gesetze des Erwärmens des Produktes, des Wärmeaustausches im Innenraum des Ofens und die stündliche Produktion berücksichtigt.

3.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die durch Korrelation aufgestellte und im Speicher des Rechners registrierte Funktion die für eine Erhitzungszone als Funktion der Zeit des Durchgangs der zu erhitzenden Produkte durch diese Zone bestimmten Werte des thermischen Wirkungsgrades repräsentiert, während der Rechner in sich wiederholenden Zeitabschnitten einen Vergleich vornimmt zwischen einerseits dem wirklichen Wärmegewinn eines jeden sich durch jene Zone bewegendes Produktes, der aus der Temperatur der Zone und diesem Wert des Wirkungsgrades für eine bestimmte Durchgangszeit als Funktion der stündlichen Produktion des Ofens berechnet ist, und andererseits dem theoretisch gegebenen Wärmegewinn, wobei die gegebenenfalls vorhandene Differenz ein Fehlersignal liefert, welches zur automatischen Regelung des Brennstoffdurchsatzes in der in Betracht gezogenen Erhitzungszone dient.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der von einem Produkt während seines Durchgangs durch eine Erhitzungszone aufgenommene Wärmegewinn D_1 bestimmt ist durch das Verhältnis

$$D_1 = K \cdot t / X \cdot y \quad (1)$$

wobei

-K

- K das mittlere Übertragungsverhältnis, d. h. die auf das Produkt je Oberflächen- und Zeiteinheit übertragene Wärmemenge,
- t die Zeit des Durchgangs des Produktes durch die in Betracht gezogene Zone,
- λ eine der Seite des thermischen Kerns des zu erhitzenden Produktes proportionale Länge und
- γ die spezifische Masse des zu erhitzenden Produktes darstellen und

- K seinerseits durch die Beziehung

$$K = G \cdot C_{pg} \cdot T_f \cdot R(t) / S \quad (2)$$

gegeben ist, in welcher

- G den Brenngasdurchsatz,
- C_{pg} die mittlere spezifische Wärme der Brenngase,
- T_f die mittlere Temperatur der Brenngase in der Erhitzungszone,
- S die gesamte thermische Austauschoberfläche und
- R(t) die durch Korrelation aufgestellte charakteristische Funktion bedeuten, wobei R(t) einem thermischen dynamischen Wirkungsgrad entspricht, welcher experimentell für jede Erhitzungszone und für jede Produktkategorie als Funktion der Zeit des Durchgangs dieser Produkte durch die in Betracht gezogene Zone bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 zur Anwendung bei Öfen, die am Ende des Produktdurchgangs eine Temperaturausgleichszone aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass in dieser Zone die sich aus den in den vorhergehenden Zonen erfolgten Erhitzungen ergebenden Temperaturabweichungen automatisch korrigiert werden mit Hilfe eines Fehlersignals, welches der Differenz aus zwei Thermen entspricht, von denen der eine Therm die wirkliche Kalorienzufuhr in der Ausgleichszone unter Berücksichtigung der des entsprechenden thermischen dynamischen Wirkungsgrads und der andere Therm die Differenz zwischen dem theoretischen Wärmegewinn und dem aus den Produkttemperaturen am Ofenausgang abgeleiteten Wärmegewinn darstellt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die als Bezugsgrösse zur Nachsteuerung eingeführte Temperatur T_m^+ der verwendeten Produkte der Beziehung
- $$T_m^+ = T_s - 2(T_s - T_c)/3$$
- genügt, in welcher T_s die Oberflächentemperatur der Produkte am Ausgang des Ofens und T_c die Temperatur des Kerns der Produkte bedeuten.
7. Vorrichtung zur automatischen Regelung von industriellen Öfen, die nach den Regeln des kontinuier-

lichen

lichen Wärmeaustauschs arbeiten, wobei diese Vorrichtung einen Rechner aufweist, der die Daten (Temperatur und Verbrennungsgasdurchsatz) in Bezug auf zumindest eine Erhitzungszone und die festen Werte in Bezug auf die Charakteristiken des Ofens, der zu erhitzenden Produkte und der Produktion aufnimmt und der Steuersignale für die die Brennstoffdurchsätze für die in Betracht gezogene Erhitzungszone regelnden Regulatoren liefert, dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner einen Speicher aufweist, in dem eine experimentell durch Korrelation aufgestellte Funktion für die in Betracht gezogene Erhitzungszone registriert ist, welche den dynamischen thermischen Wirkungsgrad repräsentiert.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner ein Rechenelement aufweist, welches in sich wiederholenden Abschnitten dem den Produkten während der Zeit ihres Durchgangs durch die in Betracht gezogene Erhitzungszone zugeführten Wärmegewinn berechnet, welcher proportional zu dem Produkt aus dem dynamischen thermischen Wirkungsgrad, der Durchgangszeit und der Temperatur der Erhitzungszone ist, und dass der Rechner eine Recheneinheit aufweist, welche die Durchgangszeit als Funktion der geforderten stündlichen Produktion bestimmt.

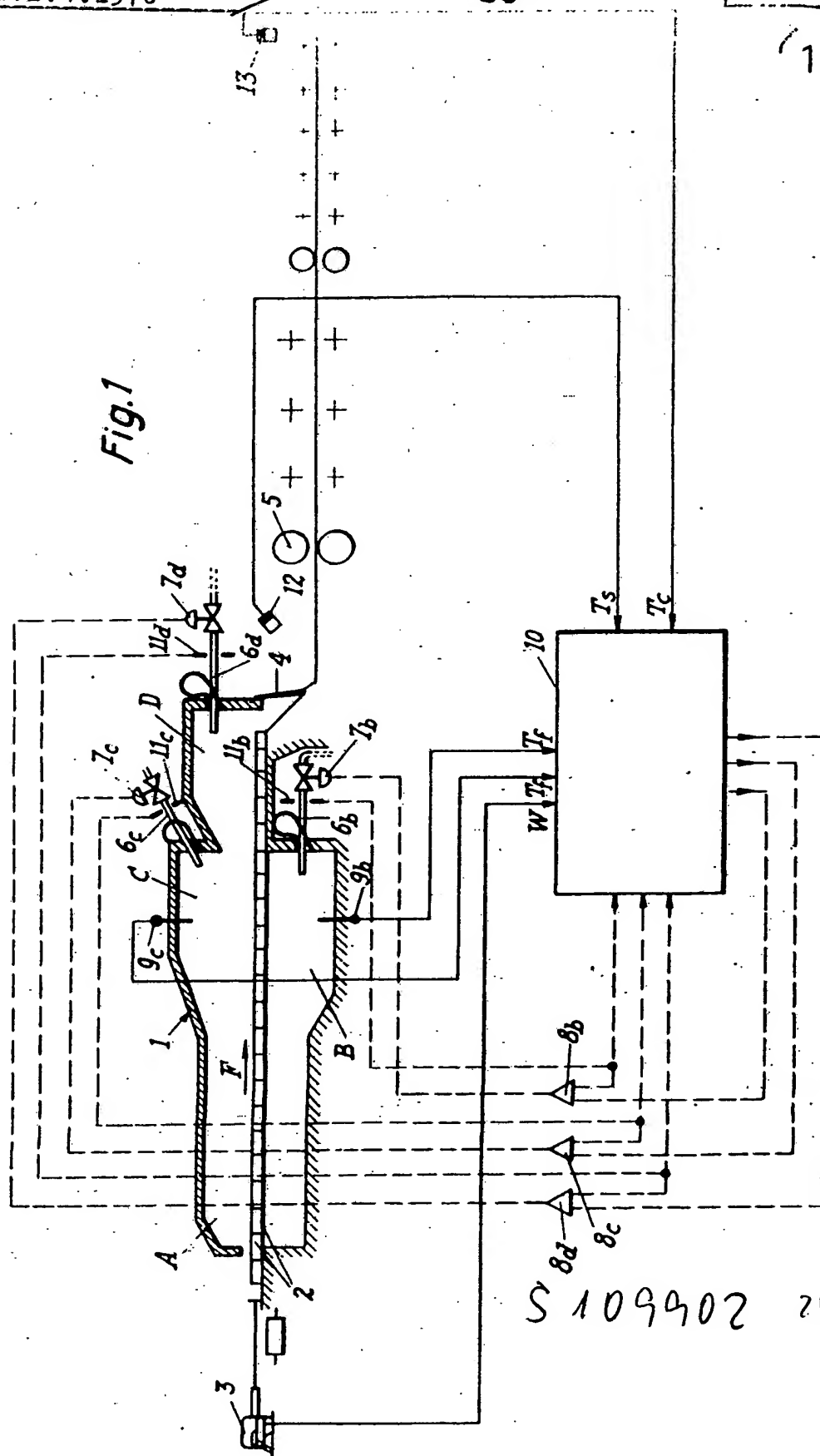
9.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 zur automatischen Regelung der Temperatenausgleichszone des Ofens, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung ein Rechenelement für die wirkliche Kalorienzufuhr in jener Zone und eine Rechenkette aufweist, welche die Differenz zwischen dem theoretisch erforderlichen Wärmegewinn und dem aus der Temperatur der Produkte am Ausgang des Ofens abgeleiteten Wärmegewinn liefert, wobei dieses Element und diese Kette einen Regulator für den Brennstoffdurchsatz steuern.

BAD ORIGINAL

009814/0793

Fig. 1



S 109902 24 mm 11A

ORIGINAL INSPECTED

009814/0793

BEST AVAILABLE CO

-31-

1551

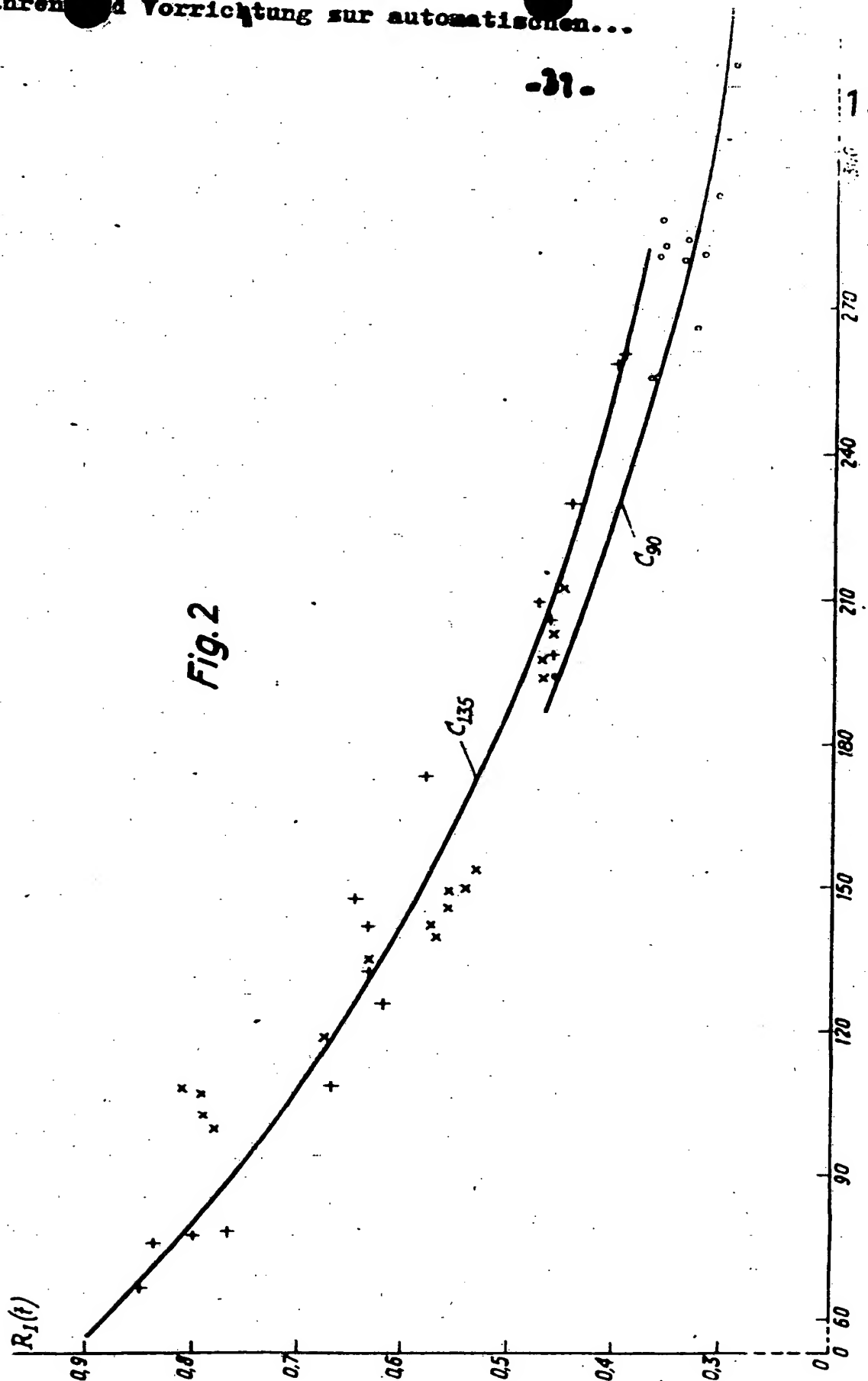


Fig. 3

